

Akwizycja danych ruchów ręki oraz ręki w egzoszkielecie z elementami sztucznej inteligencji

Jakub Kopowski, Izabela Rojek, Dariusz Mikołajewski

Kazimierz Wielki University, Faculty of Computer Science
Chodkiewicza 30, 85-064 Bydgoszcz
e-mail: jakub.kopowski@ukw.edu.pl

Abstract: The study of hand movement properties is crucial in developing human-computer interfaces and robotic arms, especially within the context of Industry 4.0 and exoskeletons that support human movement. Despite advancements, there are research gaps regarding people with disabilities and children. Key challenges include maintaining hand and upper limb position, image quality in image analysis techniques, and protecting equipment from sudden movements in individuals with disabilities. To acquire hand motion data, sensor-based technologies are utilized, with Python and the OpenCV library commonly used for image analysis. Current research focuses on integrating XR technologies (VR, AR, MR) with environmental data acquisition, enabling the analysis of hand manipulation in interaction with surrounding objects.

Słowa kluczowe: Artificial intelligence; Machine learning; Exoskeleton; Hand movements acquisition; Virtual Reality

Data acquisition of hand and hand in an exoskeleton movements with artificial intelligence elements

Streszczenie: Badanie ruchów ręki odgrywa kluczową rolę w rozwoju interfejsów człowiek-komputer i konstrukcji ramion robotycznych, co jest szczególnie istotne w kontekście Przemysłu 4.0 oraz egzoszkieleatów wspomagających ruch człowieka. Mimo postępów istnieją luki badawcze dotyczące osób z niepełnosprawnościami oraz dzieci. Główne wyzwania obejmują trudności z utrzymaniem ręki w ustalonej pozycji, jakość obrazu w technikach analizy obrazu oraz ochronę urządzeń przed nagłymi ruchami. W celu akwizycji danych ruchu ręki, wykorzystuje się technologie oparte na sensorach, przy czym język Python i biblioteka OpenCV są powszechnie stosowane w analizie obrazu. Aktualne badania koncentrują się na integracji technologii XR (VR, AR, MR) z akwizycją danych otoczenia, co umożliwi analizę manipulacji ręki w kontekście obiektów z otoczenia.

Słowa kluczowe: Sztuczna inteligencja; Uczenie maszynowe; Egzoszkieleat; Akwizycja ruchów ręki; Wirtualna Rzeczywistość

1. Wprowadzenie

Poznanie własności ręki w tym badania ruchu ma ogromne znaczenie zarówno w tworzeniu interfejsów człowiek komputer, jak i budowy ramion robotów, które są częścią badań nad wykorzystaniem AI w klasyfikatorach zadaniowych w kontekście współpracy człowiek-robot w Przemysle 4.0 oraz egzoszkieleatów wspomagających ruch ciała człowieka. Mimo trwania badań, istnieją wyzwania w badaniu osób z niepełnosprawnościami (Rys. 1), czy też dzieci.



Rysunek 1. Skanowanie ręki skanerem XYZ RED, osoby z porażeniem dziecięcym

2. Wyzwania i rozwiązania

Badania ruchów ręki z udziałem osób z deficytami napotykają liczne wyzwania, takie jak trudności w utrzymaniu stabilnej pozycji kończyny oraz wykonywaniu ruchów zgodnie z poleceniami, co jest istotne dla precyzji analizy. Utrzymanie jakości obrazu w technikach analizy ruchu jest kluczowe, a stabilizacja obrazu i filtrowanie zakłóceń pomagają zminimalizować błędy. Nagłe skurcze mięśniowe mogą zagrażać urządzeniom pomiarowym, więc stosuje się specjalne osłony i mechanizmy ochronne. Dostosowanie technologii do potrzeb osób z niepełnosprawnościami zwiększa dostępność badań oraz ich zastosowanie w rehabilitacji i interakcjach człowiek-robot.

Kwestie te można uporządkować w sposób następujący:

Problemy w utrzymaniu (stabilizacji) w polu roboczym kamer ręki i całej kończyny górnej w jednej pozycji oraz poruszaniu zgodnie z poleceniami - utrzymanie stabilnej pozycji ręki jest kluczowe w precyzyjnych badaniach ruchu, jednak dla osób z ograniczoną sprawnością lub dzieci może stanowić duże wyzwanie. Często problematyczne jest zarówno utrzymanie nieruchomej pozycji, jak i poruszanie kończyną w kontrolowany sposób na polecenie. Niektóre osoby z niepełnosprawnościami doświadczają mimowolnych skurczów lub drżenia, co utrudnia precyzyjną kontrolę. W takich przypadkach stosuje się dodatkowe narzędzia wspierające stabilizację kończyny, np. specjalistyczne uchwyty lub egzoszkielety, które pomagają kontrolować zakres i stabilność ruchu.

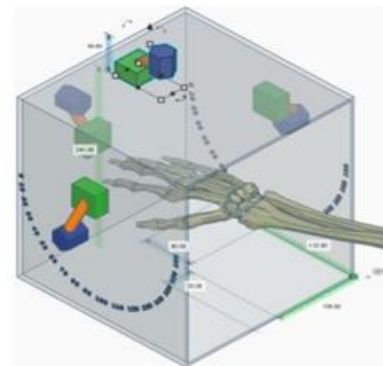
Utrzymanie jakości obrazu dla analizy obrazu - w analizie ruchu i badaniach nad gestykulacją jakość obrazu odgrywa kluczową rolę, szczególnie jeśli stosowane są techniki rozpoznawania wzorców czy uczenia maszynowego. Niedoskonała jakość obrazu, spowodowana np. rozmyciem wynikającym z ruchów ręki, może negatywnie wpływać na dokładność wyników. Aby temu zaradzić, stosuje się technologie stabilizacji obrazu oraz algorytmy, które pomagają odfiltrować niechciane ruchy lub dostosowują się do jakości danych wejściowych, co zapewnia bardziej precyzyjną analizę.

Zabezpieczenie urządzeń pomiarowych, w tym szczególnie kamer, przed nagłymi skurczami występującymi u osób z niepełnosprawnościami - podczas badań z udziałem osób z niepełnosprawnościami konieczne

jest uwzględnienie możliwości wystąpienia gwałtownych i nieprzewidywalnych ruchów, takich jak nagłe skurcze mięśniowe. Tego rodzaju ruchy mogą stanowić zagrożenie dla urządzeń pomiarowych, które są podatne na uszkodzenia. W celu ochrony sprzętu stosuje się specjalne osłony na kamery i inne delikatne urządzenia oraz technologie, które automatycznie wyłączają pomiary w razie wykrycia ryzykownych ruchów. Ważne jest również stosowanie regulowanych statywów i mocowań, które mogą amortyzować ewentualne uderzenia.

Dostosowanie technologii dla osób z deficytami i zwiększenie dostępności - obecnie technologie badające ruch ręki muszą być odpowiednio dopasowane do potrzeb użytkowników z różnymi typami niepełnosprawności, aby zapewnić im dostęp do tych narzędzi. Przystosowanie to może obejmować modyfikację interfejsów, tak aby były bardziej intuicyjne, oraz stosowanie metod automatycznej kalibracji sprzętu, która uwzględnia indywidualne ograniczenia użytkownika. Tego rodzaju technologie umożliwiają lepsze wykorzystanie potencjału urządzeń pomiarowych, zwiększając dostępność rehabilitacji, wsparcia motorycznego oraz współpracy człowiek-robot w szerokim zakresie zadań.

W celu akwizycji danych zbudowano szkielet badawczy (Rys. 2).



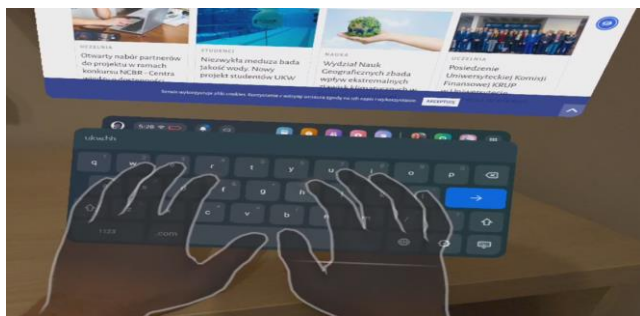
Rysunek 2. Wizualizacja stanowiska szkieletu badawczego (opracowanie własne)

Akwizycja danych ruchów ręki (ang. hand motion data acquisition) to proces obejmujący zbieranie i przetwarzanie informacji o ruchach ręki przy użyciu różnorodnych sensorów i urządzeń pomiarowych. W ramach tego procesu stosuje się takie urządzenia jak kamery, czujniki ruchu,

akcelerometry, żyroskopy, a także specjalistyczne rękawice sensoryczne, które rejestrują położenie, prędkość, kierunek oraz dynamikę ruchów poszczególnych palców i całej dłoni. Dane pozyskane w ten sposób pozwalają na bardzo szczegółową analizę aktywności ręki, co ma ogromne znaczenie w różnych zastosowaniach.

Dane te znajdują zastosowanie w takich dziedzinach jak:

Interakcje człowiek-komputer – dzięki akwizycji ruchów ręki możliwe jest rozwijanie intuicyjnych interfejsów użytkownika, które pozwalają na sterowanie komputerem za pomocą gestów [1], bez potrzeby używania tradycyjnych urządzeń wejściowych, takich jak klawiatury czy myszy. Tego typu rozwiązania stosowane są m.in. w wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości (VR i AR) (Rys. 3), gdzie użytkownik może manipulować wirtualnymi obiektami ręką.



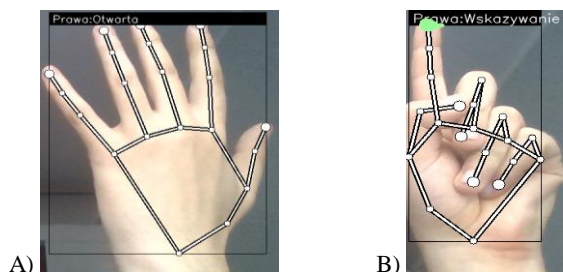
Rysunek 3. Wykorzystanie wyników akwizycji w interfejsie bezdotykowym (opracowanie własne)

Rehabilitacja – w medycynie i fizjoterapii dane o ruchach ręki są wykorzystywane do oceny postępów pacjentów po urazach kończyn górnych lub po przebytych operacjach. Dzięki urządzeniom śledzącym ruchy możliwe jest precyzyjne monitorowanie zakresu ruchu, poprawności wykonywanych ćwiczeń oraz intensywności rehabilitacji. Umożliwia to dostosowanie terapii do indywidualnych potrzeb pacjenta, a także śledzenie jego postępów, między innymi dzięki egzoszkieletom [2].

Analiza sportowa – w sporcie dane o ruchach ręki pozwalają na analizowanie techniki zawodników [3], np. w sportach takich jak tenis, koszykówka czy golf, gdzie precyzja i dynamika ruchów rąk odgrywają kluczową rolę. Analizując te dane, trenerzy i sportowcy mogą optymalizować technikę, co przekłada się na lepsze wyniki sportowe i minimalizację ryzyka kontuzji.

Robotyka – dane o ruchach ręki są istotne w badaniach nad robotami i protezami [4], które naśladują ruchy ludzkiej dłoni. Dzięki akwizycji ruchów ręki możliwe jest projektowanie i programowanie robotów, które precyzyjnie odtwarzają naturalne ruchy ludzkiej ręki, co ma zastosowanie w robotyce przemysłowej, medycznej oraz w systemach współpracy człowiek-robot (Human-Robot Interaction, HRI).

Jednym z popularniejszych języków programowania wykorzystywanym w analizie i akwizycji danych, w tym analizie ruchów obiektów i ludzi jest Python (Rys. 4). Jego popularność wynika z wszechstronności oraz dużej liczby bibliotek i narzędzi wspierających różne aspekty analizy danych. Jedną z najczęściej używanych i popularnych jest biblioteka Open-CV, która umożliwia analizę obrazu, w tym analizę ręki [5]. Open-CV jest szeroko stosowana w takich dziedzinach jak robotyka, monitorowanie ruchu oraz systemy wizyjne.

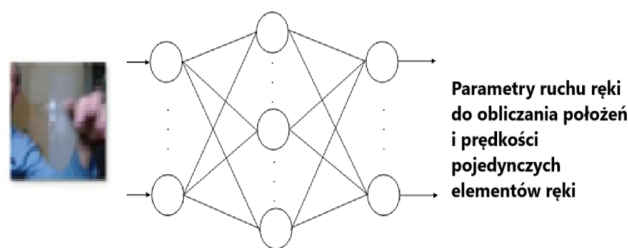


Rysunek 4. Wykrywanie ręki i gestów. A) otwieranie ręki B) gest wskazywania (opracowanie własne)

Dodatkowo biblioteki oparte na sztucznej inteligencji, takie jak OpenPose [6], umożliwiają szczegółowe rozpoznawanie i analizę ruchów poszczególnych części ciała. OpenPose jest narzędziem, które dzięki gotowym, wytrenowanym modelom pozwala na szybkie wykrywanie kluczowych punktów ciała, takich jak stawy i kończyny, co ma zastosowanie w monitorowaniu aktywności fizycznej, analizie postawy oraz rehabilitacji. Modele OpenPose bazują na metodach uczenia maszynowego i głębokiego, co umożliwia dokładne i automatyczne śledzenie ruchów, bez potrzeby ręcznej kalibracji.

Ww. narzędzia oparte na Pythonie i bibliotekach takich jak Open-CV oraz OpenPose pozwalają na rozwijanie zaawansowanych systemów analizy ruchu, które znajdują zastosowanie w różnych branżach – od przemysłu poprzez medycynę, aż po rozrywkę i sport. Dzięki ich użyciu

możliwe jest prowadzenie precyzyjnych badań nad interakcjami człowieka z maszyną, analizą gestów oraz kontrolą urządzeń za pomocą ruchu ciała. Biblioteka OpenPose umożliwia łatwe rozpoznawanie poszczególnych części ciała, już wytrenowanymi modelami opartymi na metodach AI (Rys. 5).



Rysunek 5. Wykrywanie ręki i gestów (opracowanie własne)

3. Egzoszkielet ręki

Badania dotyczące akwizycji danych ręki są istotne z punktu widzenia badań nad egzoszkieletami ręki (Rys. 6).



Rysunek 6. Egzoszkielet ręki (opracowanie własne)

Interdyscyplinarne badania nad egzoszkieletami ręki łączące informatykę, fizjoterapię i inżynierię mechaniczną

odgrywają kluczową rolę w projektowaniu i budowie prototypów egzoszkieletów, które później mogą być przekształcane w wersje komercyjne.

W informatyce rozwijane są zaawansowane algorytmy przetwarzania sygnałów i analizy ruchu, które pozwalają na precyzyjne śledzenie i odtwarzanie ruchów ludzkiego ciała. Tego typu algorytmy, często oparte na sztucznej inteligencji i uczeniu maszynowym, są niezbędne do monitorowania i kontrolowania egzoszkieletów, które mają wspomagać ruchy człowieka i wspierać rehabilitację (Rys. 7).



Rysunek 7. Egzoszkielet ręki wspierający łapanie piłeczki (opracowanie własne)

Fizjoterapia w tym procesie dostarcza wiedzy na temat ruchomości kończyn, fizjologii mięśni i wymagań terapeutycznych, co pozwala na dostosowanie egzoszkieletów do potrzeb pacjentów. Dzięki zaangażowaniu specjalistów z tej dziedziny możliwe jest tworzenie urządzeń, które wspomagają rehabilitację pacjentów z ograniczoną sprawnością ruchową, np. po udarze, urazach rdzenia kręgowego czy amputacjach. Urządzenia te pomagają pacjentom odzyskać sprawność i zwiększają ich samodzielność. Natomiast bazy wiedzy pozyskane od fizjoterapeutów mogą posłużyć do trenowania modeli sztucznej inteligencji, co z kolei posłuży polepszeniu jakości życia użytkowników egzoszkieletów.

Inżynieria mechaniczna w tych interdyscyplinarnych badaniach zajmuje się projektowaniem fizycznej struktury egzoszkieleatów, wyborem odpowiednich materiałów oraz zapewnieniem bezpieczeństwa i wygody użytkownika. Konstruktorzy muszą uwzględnić kwestie takie jak wytrzymałość, lekkość, ergonomię oraz sposób zasilania egzoszkieleatu. W efekcie powstają prototypy, które są testowane i doskonalone, aby spełniały wymagania użytkowników i były dostosowane do różnych warunków pracy.

Współpraca między tymi dziedzinami umożliwia rozwój technologii egzoszkieleatów, które mają szerokie zastosowanie – od medycyny i rehabilitacji po przemysł i wojsko. Prototypy te są kluczowym etapem w drodze do utworzenia komercyjnych wersji egzoszkieleatów, które mogą być wdrożone na większą skalę i szerzej dostępne na rynku.

4. Podsumowanie

Akwizycja danych ręki przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji jest istotna z punktu widzenia sterowania egzoszkieleatami i dostosowania programów rehabilitacyjnych w egzoszkieleatach do różnych grup użytkowników.

Literatura

1. Tsuji T., Hase K., Matsubara Y. Gesture-based human-computer interaction using hand motion tracking with depth-sensing cameras. *Sensors*, 2020, 20(8), 2337. DOI: 10.3390/s20082337
2. Hasegawa T., Ogura F., Kita Y. Development of a robotic hand for human-like dexterous manipulation based on motion capture data. *IEEE Transactions on Robotics*, 2014, 30(2), 458-471. DOI: 10.1109/TRO.2014.2307513.
3. Liebermann D. G., Katz L., Hughes M. D., Bartlett R.M., McClements J., Franks I. M. Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of Sports Sciences*, 2002, 20(10), 755-769. DOI: 10.1080/026404102320675611
4. Hasegawa T., Ogura F., Kita Y. Development of a robotic hand for human-like dexterous manipulation based on motion capture data. *IEEE Transactions on Robotics*, 2014, 30(2), 458-471. DOI: 10.1109/TRO.2014.2307513
5. <https://docs.opencv.org/4.x/>, dostęp 3.11.2024
6. <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>, dostęp 3.11.2024